

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-211288
(P2003-211288A)

(43) 公開日 平成15年7月29日 (2003.7.29)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル* (参考)
B 2 3 K 35/30 9/04	3 4 0	B 2 3 K 35/30 9/04	3 4 0 B 3 G 0 0 2 H P
F 0 1 D 5/02 5/30		F 0 1 D 5/02 5/30	
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2002-13458(P2002-13458)

(22) 出願日 平成14年1月22日 (2002.1.22)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 重 隆司

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72) 発明者 妻鹿 雅彦

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74) 代理人 100100077

弁理士 大場 充 (外1名)

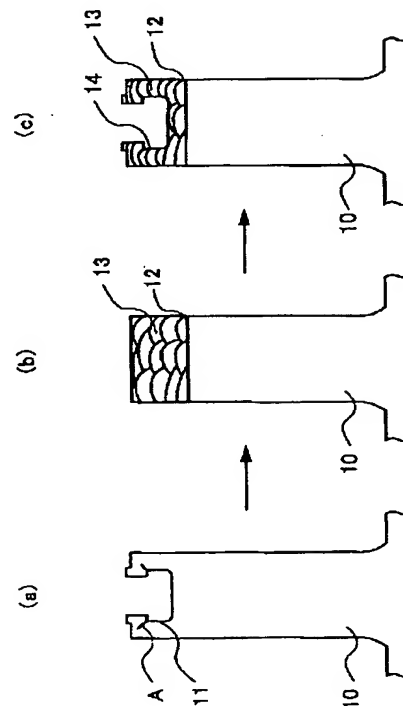
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービンロータの翼溝補修方法およびタービンロータ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 腐食環境の厳しい状態でも長時間の使用に耐えるタービンロータのSCC特性に優れた翼溝補修方法を提供すること。

【解決手段】 低合金鋼製タービンロータの翼溝11の欠陥発生部Aを機械的に除去し、その加工面12に10～14mass%のCrと0.5～5.5mass%のNi量を含むCr鋼の溶接材料で翼形状を復元するように溶接をし、その後新しい翼溝14を形成するタービンロータの翼溝補修方法である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 低合金鋼製タービンロータの翼溝の欠陥発生部を機械的に除去して加工面を形成し、該加工面に重量%でCr10.0～14.5%、Ni0.5～5.5%含有するCr鋼の溶接材料を用いて翼形状を復元するように溶接を施し、その後該溶接部に翼溝を形成することを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法。

【請求項2】 請求項1に記載の溶接が、肉盛溶接であることを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の溶接材料が、化学成分が重量%でC0.02～0.08%、Si≤1.2%、Mn≤1.2%、Ni0.5～5.5%、Cr10.0～14.5%、Mo0.3～1.0%を含み残部Feおよび不純物よりなることを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法。

【請求項4】 請求項1～請求項3のいずれかに記載の溶接材料が、重量%でNi1.0～4.5%であることを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法。

【請求項5】 請求項1～請求項4のいずれかに記載の溶接が、TIG溶接、プラズマ溶接、サブマージ溶接のいずれかによって肉盛溶接することを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法。

【請求項6】 低合金鋼から構成されるロータ本体と、ロータ本体上に形成される翼溝部と、前記翼溝部に保持される翼と、を備え、

前記翼溝部は、化学成分が重量%でC0.02～0.08%、Si≤1.2%、Mn≤1.2%、Ni0.5～5.5%、Cr10.0～14.5%、Mo0.3～1.0%を含み残部Feおよび不純物よりなる肉盛溶接材料から構成されたことを特徴とするタービンロータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は蒸気タービンロータの翼溝補修方法に関するものである。とくに応力腐食割れ（以下SCCと表示）特性に優れた翼溝の補修方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図7に示す蒸気タービンロータ1のロータ本体10の材料としては、通常、表1の試料No.6～9に示すような3.5NiCrMoV鋼、2.5NiCrMoV鋼、2.25CrMoV鋼、1CrMoV鋼などの低合金鋼が用いられている。使用環境によるが長時間使用中に、翼2には遠心力により円周方向への張力が加わり翼2が固定されたロータ本体10の翼溝部に高い応力が加わり、翼溝11においてSCCによる欠陥発生部を生じることがある。図7の翼溝部の拡大図を図8(a)に示す。翼溝11にSCCによる欠陥発生部Aが生じる。従来、翼溝11にSCCによる欠陥発生部Aが生じた場合は、図8(b)に示す如く、翼溝切り下げ加工

工で前の翼溝11の下側に新たな翼溝11'を形成している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述した翼溝切り下げ加工で新たな翼溝11'を形成した場合、ロータ本体10の新しい翼溝11'に翼2を合わせたタービンロータ1の翼2の外周径は小さくなり、翼溝切り下げ加工を繰り返すことができない。また、腐食環境の厳しい状態での低合金鋼製タービンロータの使用では、高い応力が加わる翼溝11のSCC割れの再発を防止することは難しいという問題がある。

【0004】 本発明は、このような問題点を解消するためになされたもので、タービンロータ1のSCC特性に優れた翼溝補修方法の提供を目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、低合金鋼製タービンロータの翼溝の欠陥発生部を機械的に除去して加工面を形成した後、この加工面に重量%でCr10.0～14.5%、Ni0.5～5.5%含有するCr鋼の溶接材料を用いて翼形状を復元するように溶接を施す。その後、溶接部に翼溝を形成することを特徴とするタービンロータの翼溝補修方法である。欠陥発生部を機械的に除去した加工面への溶接法としては、肉盛溶接が適している。また、SCC特性の優れた翼溝補修とするためには溶接材料としては、Ni量を1.0～4.5%含有する12Cr鋼が適する。

【0006】

【発明の実施の形態】 以下、本発明のタービンロータの翼溝補修方法の実施の形態について、添付図面を参照して説明する。なお、この実施の形態により本発明が限定されるものではない。

【0007】 図1は、本発明にかかるタービンロータの翼溝補修方法の一例を示す断面図である。図7、図8に示すタービンロータ1のロータ本体10の翼溝11に欠陥発生部Aが生じた際の、ロータ本体10の状態を図1(a)に示す。翼溝11の欠陥発生部Aを機械的に除去した加工面12に重量%でCr10.0～14.5%、Ni0.5～5.5%含有するCr鋼の溶接材料で翼形状を復元するように溶接部13を形成（図1(b)）

し、その後、SCC特性に優れた材料からなる溶接部13に新しい翼溝14を形成するようにして（図1(c)）、SCC特性に優れた翼溝補修を行うものである。溶接法としては、TIG溶接、プラズマ溶接、サブマージ溶接のいずれかの肉盛溶接が適用できる。以上の補修方法によって、低合金鋼から構成されるロータ本体10と、ロータ本体10上に形成される翼溝部と、前記翼溝部に保持される翼2と、を備え、前記翼溝部は、化学成分が重量%でC0.02～0.08%、Si≤1.2%、Mn≤1.2%、Ni0.5～5.5%、Cr10.0～14.5%、Mo0.3～1.0%を含み残部

Feおよび不純物よりなる肉盛溶接材料から構成されたことを特徴とするタービンロータ1を得ることができる。

【0008】本発明でのタービンロータ本体の材料としては低合金鋼を用いるが、表1の試料No. 6～9に示す化学成分を有する3.5NiCrMoV鋼、2.5N

* iCrMoV鋼、2.25CrMoV鋼、1CrMoV鋼などが適する。本発明での溶接材料はSCC特性に優れた翼溝11の形成に重要なものであり、適正量のCrとNiを含有したCr鋼とすることが重要である。

【0009】

【表1】

ロータ本体 試料No.	化学成分(重量%)							機械的性質		
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	引張特性		衝撃特性
								0.2%耐力	引張強さ	吸収エネルギー (室温)
								N/mm ²	N/mm ²	J
No.6 (3.5Ni)	0.20 ～ 0.30	≤ 0.35	≤ 1.00	3.25 ～ 3.75	1.00 ～ 2.00	0.30 ～ 0.60	0.07 ～ 0.15	≥ 758	≥ 861	≥ 50
No.7 (2.5Ni)	0.25 ～ 0.30	≤ 0.35	≤ 1.00	2.00 ～ 3.00	0.2 ～ 1.00	0.30 ～ 0.60	0.05 ～ 0.15	≥ 686	≥ 823	≥ 40
No.8 (2.25Cr)	0.25 ～ 0.30	≤ 0.35	≤ 1.00	≤ 1.00	2.00 ～ 2.50	0.75 ～ 1.50	0.21 ～ 0.29	≥ 588	≥ 725	≥ 30
No.9 (1Cr)	0.20 ～ 0.35	≤ 0.35	≤ 1.00	≤ 0.5	0.5 ～ 1.30	1.00 ～ 1.50	0.21 ～ 0.29	≥ 588	≥ 723	≥ 10

【0010】溶接材料としては、重量%でCr10.0～14.5%、Ni0.5～5.5%含有するCr鋼である。Cr、Ni以外の他の成分の好ましい範囲を特定した溶接材料は、重量%でC0.02～0.08%、Si≤1.2%、Mn≤1.2%、Ni0.5～5.5%、Cr10.0～14.5%、Mo0.3～1.0%を含み残部Feおよび不純物よりなるCr鋼である。Cr量としては、SCC特性向上のために重量%でCr10.0～14.5%、好ましくは12.0～13.5%である。

【0011】SCC特性向上に効果が大きい重要成分であるNi量としては、重量%で0.5%以上を含有し、含有量が多くなると残留オーステナイト量が多くなり組織が不安定になるので、5.5%以下とする。安定したSCC特性を得るために好ましくは1.0～4.5%である。他の成分として、C量は0.02～0.08%、溶接性を考慮してロータ本体10より少ない0.03～

※0.07%が好ましい。

【0012】Si量は脱酸材として1.2%以下、脆化を起こし易い点を考慮し溶接欠陥の防止の観点から0.08%以下が好ましい。Mn量は脱酸材として1.2%以下、脆化を起こし易い点を考慮し溶接欠陥の防止の観点から1.0%以下が好ましい。Mo量は強度確保の観点より0.3～1.0%、好ましくは0.3～0.8%である。

【0013】(実施例1)上記実施の形態にかかるタービンロータの翼溝補修方法の実施例について説明する。SCC特性の優れた翼溝補修を得るために、タービンロータのロータ本体に表2に示す溶接材料を用いて肉盛溶接を行い、肉盛溶接部のSCC試験を行った。肉盛溶接の方法としてはTIG溶接、プラズマ溶接およびサブマージ溶接を採用した。

【0014】

※【表2】

試料No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
No.1 (0Ni)	0.03	0.59	0.64	0	12.08	0.51
No.2 (1Ni)	0.03	0.70	0.68	0.98	12.34	0.40
No.3 (4Ni)	0.07	0.49	0.70	4.10	13.50	0.70
No.4 (5Ni)	0.05	0.51	0.90	4.91	12.78	0.54
No.5 (6Ni)	0.03	0.50	0.69	6.12	12.81	0.49

重量%, 残部Fe

【0015】肉盛溶接に採用したそれぞれの溶接条件は表3にTIG溶接、表4にプラズマ溶接、表5にサブマージ溶接を示す。表1の試料No. 6に示す化学成分の

3.5NiCrMoV鋼のロータ本体に、表3、表4のTIGおよびプラズマ溶接条件で表2の試料No. 1～No. 5に示す化学成分の溶接材料を用いて肉盛溶接を

行った。溶接後の熱処理として615℃に30時間保持をした。溶接後の熱処理条件としては、580～640℃に20～40時間保持することができる。

* 【0016】

【表3】

*

溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	トーチガス (L/min)	補助シールド (L/min)	ワイヤー径 (Φmm)	予熱 パス間温度 (℃)
300	11	120	約20	約30	1.6	150 ～ 250

【0017】

※10※【表4】

溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	プラズマガス (L/min)	補助シールドガス (L/min)	ワイヤー径 (Φmm)	予熱 パス間温度 (℃)
350	35～40	150	2	40	1.6	150 ～ 250

【0018】

★ ★【表5】

溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	ワイヤー径 (Φmm)	予熱 パス間温度 (℃)
300A	27V	800mm/min	2.4	150 ～ 250

【0019】SCC試験を行うために、図5(a)に示すように肉盛溶接部13およびロータ本体10から図5(b)に示す形状のSCC試験片3を作製した。SCC試験条件は、図6に示すように加圧容器中で試験温度130℃、溶存酸素量100ppbを有する純水中の試験環境下で、図6に示す寸法形状の試験片にボルト締めで付荷重量(締め込み量=A-B)を与えた状態で200

00時間の試験を行い、締め込み量1mm、2mm、4mmでのSCCの有無(割れの長さ)を確認した。表6には比較のために試料No. 6～9のロータ本体材料(表1に化学成分を示す)についても同様のSCC試験を行った結果を示す。

【0020】

【表6】

試料No.	SCCの有無(割れの長さ)			備考
	締め込み量(mm)			
	1	2	4	
No.1	割れなし	割れ発生 (1mm)	割れ発生 (5mm)	従来例
No.2	割れなし	割れなし	割れなし	発明例
No.3	割れなし	割れなし	割れなし	発明例
No.4	割れなし	割れなし	割れなし	発明例
No.5	割れなし	割れ発生 (1mm)	割れ発生 (5mm)	比較例
No.6 3.5Ni □—タ本体	割れなし	割れ発生 (1.5mm)	割れ発生 (6mm)	比較例
No.7 2.5Ni □—タ本体	割れなし	割れ発生 (2mm)	割れ発生 (8mm)	比較例
No.8 2.25Cr □—タ本体	割れ発生 (0.5mm)	割れ発生 (1.5mm)	割れ発生 (10mm)	比較例
No.9 1Cr □—タ本体	割れ発生 (0.5mm)	割れ発生 (2.5mm)	割れ発生 (20mm)	比較例

【0021】表6のSCC試験結果より、Niを含有しない12Cr鋼の試料No. 1を用いた場合（従来例）では締め込み量1mmで割れは生じないが、締め込み量2mm、4mmでSCCによる割れが発生し、SCC特性に優れた翼溝補修には適さない。Ni量を0.98、4.10、4.91%含有する12Cr鋼の試料No. 2、3、4を用いた場合（発明例）では締め込み量が4mmでもSCCによる割れが発生しておらず、SCC特性が優れていることが確認された。Niを6.12%含有する12Cr鋼の試料No. 5を用いた場合（比較例）では締め込み量が2mmで割れが発生しており、締め込み量が4mmでは割れ長さが5mmとなる。

【0022】試料No. 2～4に示すNi量を含有する12Cr鋼の溶接材料を用いた肉盛溶接部13は、試料No. 6～9に示す低合金鋼よりもSCC特性が優れていることが確認されている。TIG溶接とプラズマ溶接で同じ結果が得られた。表5に示すサブマージ溶接条件で肉盛溶接し、上記と同一のSCC試験を行っても表6と同様な結果が得られている。

【0023】表1の試料No. 6に示す3.5NiCrMoVの低合金鋼製タービンロータについて、図1に示すようにロータ本体10の翼溝11にSCCによる割れの欠陥が発生したものを、欠陥発生部Aを機械的に除去して加工面12を形成した。その後、加工面12に表2に示す試料No. 2～4の溶接材料を表3に示すTIG溶接条件で翼形状を復元するように肉盛溶接を施し、そ

の後肉盛溶接部13に新しい翼溝14を形成した。この新しい翼溝14を形成したタービンロータは、新品のタービンロータの翼溝14よりSCC特性が優れていることを確認しており、本発明の翼溝補修方法によりSCCに対する信頼性の高い蒸気タービンロータの翼溝14の補修が可能となる。

30

【0024】本実施例では、3.5NiCrMoVの低合金鋼製タービンロータのSCCによる欠陥が発生した翼溝を機械的に除去し、Niを含有する12Cr鋼の溶接材料にてTIG肉盛溶接後に翼溝を形成する補修方法を示したが、他の化学成分の低合金鋼製タービンロータであっても同様の効果が得られることは明らかである。また、プラズマ溶接やサブマージ溶接で肉盛溶接しても同様の効果が得られることも明らかである。

40

【0025】（実施例2）最初段または最終段の翼の翼溝に欠陥発生部が生じた場合、翼溝の補修のために肉盛溶接をする代わりに新規リング材を用いて溶接した後に翼溝を形成することが可能である。図2は、外周リング15を用いて電子ビーム溶接（以下EBWと表示）を適用したタービンロータ1の翼溝補修方法の一例を示す部分断面図である。図2に示すように、欠陥発生部を生じた翼溝を円周上に機械加工によって除去し、ロータ本体10と同一材料の外周リング15を翼溝の除去部に挿入し、タービンロータ1の軸心方向と平行な横方向（EBW方向）から電子ビーム溶接を行った。

50

【0026】この方法によると、新規リング材である外

周リング１５がＥＢＷ部１６を介してロータ本体１０に溶接接合されており、その後ロータ本体１０に接合された外周リング１５に新規な翼溝が形成されるので、補修された翼溝のＳＣＣ特性は新品ロータ本体と同等となる。最初段または最終段の翼の翼溝に欠陥発生部が生じた場合は、タービンロータ軸心方向と平行な横方向からのＥＢＷが可能であり、ＴＩＧ溶接など他の溶接方法でも可能であるが、溶接速度が早く非常に高能率に溶接できるＥＢＷで外周リング１５を溶接するのが好ましい。また、外周リング１５の材料をロータ本体１０よりＳＣＣ特性に優れた材料にすれば、新品のロータ本体以上のＳＣＣ特性を確保することが可能である。

【００２７】（実施例３）最初段と最終段の間の翼の翼溝に欠陥発生部が生じた場合、肉盛溶接をする以外の補修方法として、外周リング１５を用いようとしても最初段または最終段の翼が邪魔になって挿入できない、またタービンロータ１の軸心方向と平行方向からのＥＢＷを行うこともできない。

【００２８】この場合は、図３の部分断面図に示すように内周面の中央が突き出た外周２つ割れリング１７を、欠陥発生部を生じた翼溝を機械加工によって除去したロータ本体１０の除去部にセットする。そして、図３に示すように、タービンロータ１の軸に傾斜した方向からＥＢＷを実行する。ＥＢＷはロータ本体１０のディスク部の両面かつ円周全域に亘って行う。円周方向のＥＢＷを行った後に、外周２つ割れリング１７の継ぎ目をロータ本体１０と同一材、１２Ｃｒ鋼、Ｎｉ含有の１２Ｃｒ鋼など各種溶加材のいずれかをを用いたＴＩＧ溶接で結合することができる。そして、その後に翼溝を形成する。

【００２９】（実施例４）最初段と最終段の間の翼の翼溝に欠陥発生部が生じた場合、内面の中央が突き出た外周２つ割れリング１７を、欠陥発生部が生じた翼溝を機械加工によって除去したロータ本体１０の除去部にセットし、円板の両側からＥＢＭ溶接するやり方を実施例３に示した。しかし、ＥＢＷは真空チャンバー内で行うので、大型タービンロータで真空チャンバー内に入らない場合にはＥＢＷは適用できず、溶接速度はＥＢＷより遅いが大気中で溶加材を用いて処理できるＴＩＧ溶接を適用することができる。

【００３０】図４（ａ）に示すように内面の中央が突き出た外周２つ割れリング１７を、欠陥発生部が生じた翼溝を機械加工によって除去したロータ本体１０の除去部にセットし、円板の両側からロータ本体１０と同一材、１２Ｃｒ鋼、Ｎｉ含有１２Ｃｒ鋼など各種溶加材のいずれかをを用いて狭間先ＴＩＧ溶接を行うことによって翼溝部を新規材に交換することができ、その後翼溝を形成する。図４（ｂ）はロータ本体１０に外周２つ割れリング

１７がＴＩＧ溶接部１８を介して接合された状態を示す部分断面図である。円周方向のＴＩＧ溶接を行った後に、外周２つ割れリング１７の継ぎ目を同じくＴＩＧ溶接１８で結合することができる。

【００３１】上述の実施例では、最初段と最終段の間の翼の翼溝に欠陥発生部が生じた場合の補修方法を説明したが、最初段または最終段の翼の翼溝に生じた場合でも、真空チャンバー内に入らないものについては、実施例２に示すＥＢＷの代わりにＴＩＧ溶接を適用することができる。

【００３２】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、低合金鋼製タービンロータの翼溝の欠陥発生部を機械的に除去し、その加工面に適正量のＣｒとＮｉ量を含有するＣｒ鋼の溶接材料で翼形状を復元するように溶接をし、その後翼溝を形成することで、腐食環境の厳しい状態でも長時間の使用に耐えられるタービンロータのＳＣＣ特性に優れた翼溝補修方法が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図１】 本発明にかかる実施の形態による実施例１の肉盛溶接を適用したタービンロータの翼溝補修方法の一例を示す断面図である。

【図２】 本発明にかかる実施例２の外周リングを用いてＥＢＭを適用したタービンロータの翼溝補修方法の一例を示す部分断面図である。

【図３】 本発明にかかる実施例３の外周２つ割れリングを用いてＥＢＭを適用したタービンロータの翼溝補修方法の一例を示す部分断面図である。

【図４】 本発明にかかる実施例４の外周２つ割れリングを用いてＴＩＧ溶接を適用したタービンロータの翼溝補修方法の一例を示す部分断面図である。

【図５】 本発明にかかる実施の形態による実施例１の肉盛溶接で翼溝を補修したタービンロータからのＳＣＣ試験片の採取のやり方を説明するための斜視図である。

【図６】 ＳＣＣ試験片形状と試験条件を示す図である。

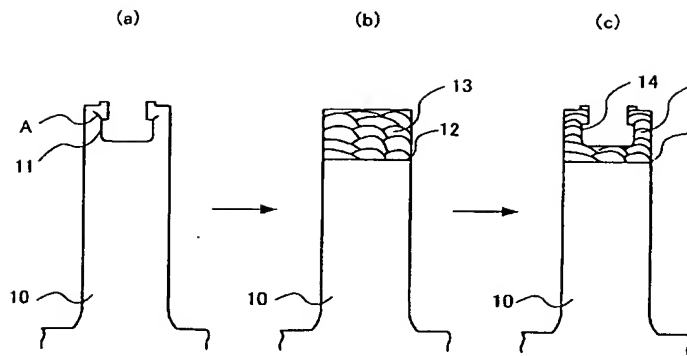
【図７】 翼と一部の翼溝に欠陥発生部を有するタービンロータの全体を示す部分断面図である。

【図８】 （ａ）は翼溝に欠陥発生部が生じたロータ本体の断面図、（ｂ）は従来法による翼溝切り下げの補修方法を示す断面図である。

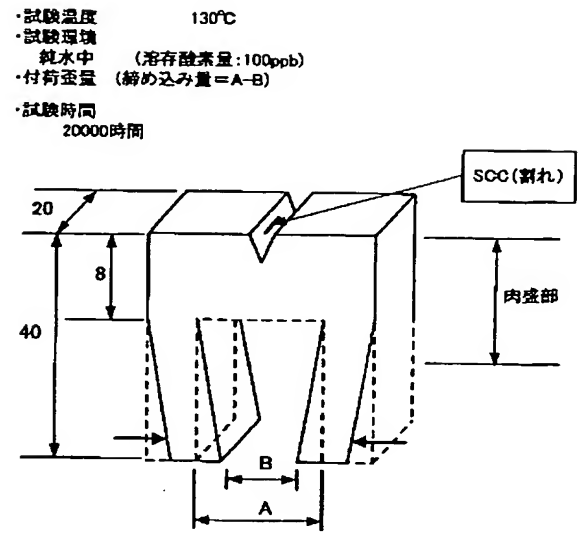
【符号の説明】

１…タービンロータ、２…翼、３…ＳＣＣ試験片、１０…ロータ本体、１１、１４…翼溝、１２…加工面、１３…溶接部、１５…外周リング、１６…ＥＢＭ部、１７…外周２つ割れリング、１８…ＴＩＧ溶接部、Ａ…欠陥発生部

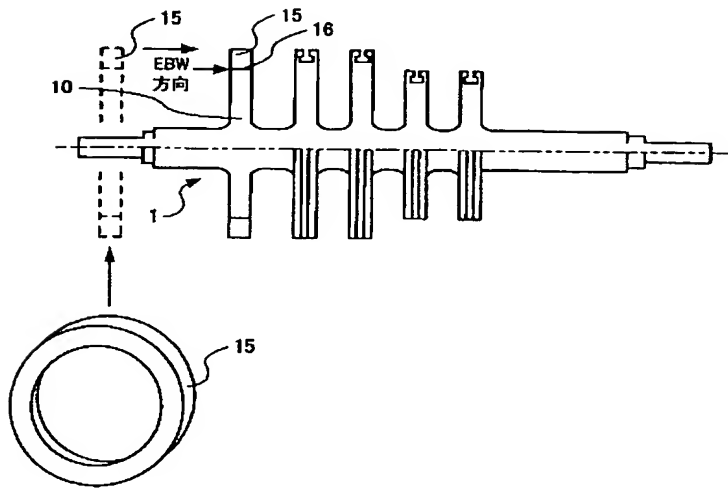
【図1】



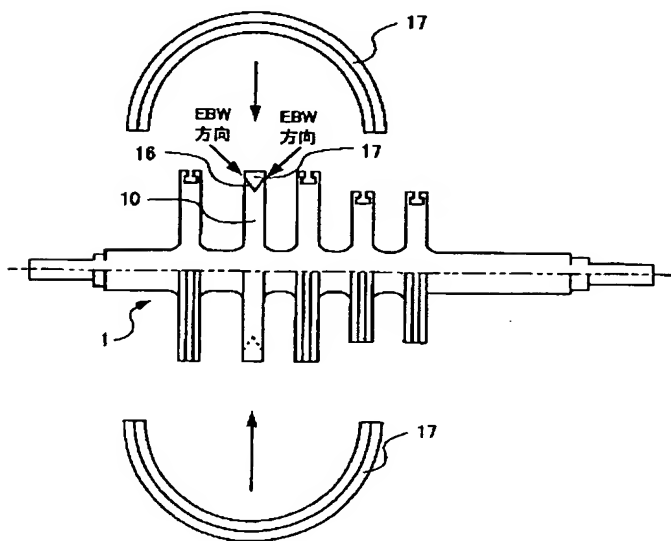
【図6】



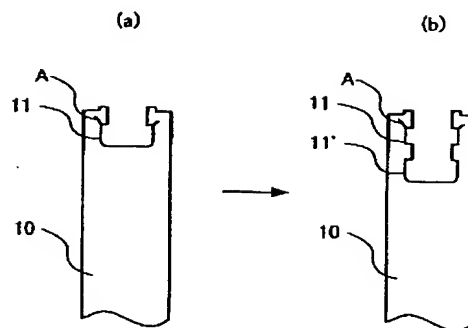
【図2】



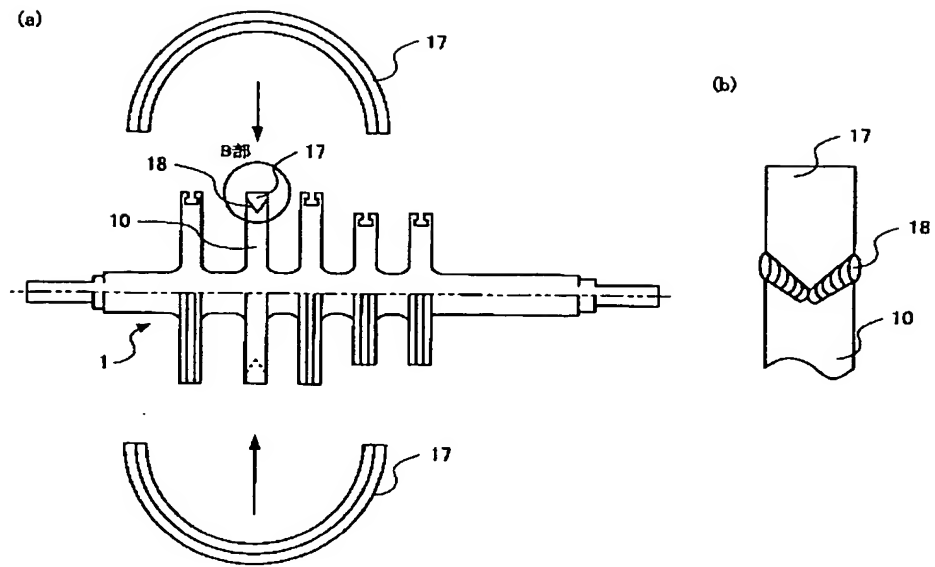
【図3】



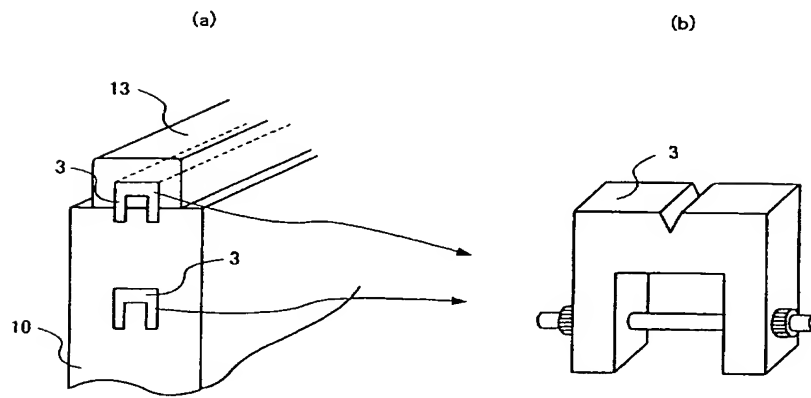
【図8】



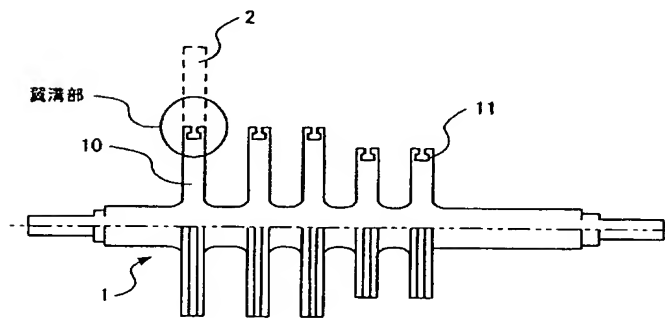
【図4】



【図5】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-コ-ト'(参考)
// C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 A
38/46		38/46	
(72)発明者 福永 義昭		(72)発明者 榎本 裕基	
兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号		兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号	
三菱重工業株式会社高砂研究所内		三菱重工業株式会社高砂製作所内	
		F タ-ム(参考) 3G002 AA02 AA11	